

РОЛЬ ВОДОРОДА В ДЕГРАДАЦИИ И ДЕСТРУКЦИИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Чуканова А. А.

Руководитель – доц., к.т.н. Тихонова И. В.

ГОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула

e-mail: alexchukanova@yandex.ru

С помощью комплексного анализа эффектов внутреннего трения (максимумов Снука, деструкционного, водородного максимума Снука-Кестера) изучали влияние водородсодержащих сред и роль водорода в развитии деградации и деструкции в углеродистых сталях.

Введение. Промышленные изделия, узлы и агрегаты, элементы конструкций, как правило, работают в агрессивных водородсодержащих средах (коррозионных, эрозионных). Водород, проникая в металл изделия и абсорбируясь в нем, изменяет химический состав, структуру, а также перераспределяет поля внутренних напряжений. Эти процессы, обобщенные термином «деградация», подготавливают и стимулируют развитие микронесплошностей различного масштабного уровня (деструкцию) [2].

Перспективным методом, измерения диффузионных характеристик водорода, а также параметров суб- и микроструктуры в ходе развития деградации и деструкции является метод внутреннего трения (ВТ).

На температурных зависимостях ВТ (ТЗВТ) фиксируют комплекс неупругих эффектов (максимумов), отражающих изменение фазового состава, морфологии фаз, процессы перераспределения растворенных и собственных атомов, формирование суб- и микронесплошностей [3]. **Целью** работы являлась оценка эффективности использования метода ВТ для контроля за развитием деградации и деструкции в углеродистых сталях, подвергшихся действию водородсодержащих сред.

Теория. В ходе развития деградации и деструкции сталей, подвергнутых наводороживанию, на ТЗВТ в диапазоне $-100...200\text{ }^{\circ}\text{C}$ фиксируют следующие неупругие эффекты: водородный максимум Снука – Кестера (СК(Н)), максимум Снука (C_H), а также специфический деструкционный максимум (Д), имеющий место в поврежденных образцах. Наблюдаемый водородный максимум Снука – Кестера обусловлен диффузией под напряжением атомов водорода вблизи неподвижных атомов кислорода или азота в сталях с ОЦК решеткой. Эффект Снука – следствие упорядочения под напряжением примесей внедрения (атомов азота и углерода) в $\alpha\text{-Fe}$ [1]. Появление деструкционного максимума на ТЗВТ связано с изменением дислокационной динамики у структурных дефектов и дефектов поврежденности (микротрещин).

Методика эксперимента. Насыщение водородом проводили путем электролитического наводороживания в растворах H_2SO_4 с добавлением тиомочевины NH_2CNSH_2 при плотности тока $j = 60$ и 150 А/м^2 . Длительность наводороживания варьировали от 1 до 30 часов. ВТ измеряли на образцах

углеродистых сталей марок Ст3, сталь 20 в диапазоне от -100 до 200 °С. Использовали резонансную методику (ГОСТ 25156-82) (частота изгибных колебаний $\sim 1 \cdot 10^3$ с $^{-1}$). Скорость нагрева 2 град/мин.

ТЗВТ аппроксимировали с помощью компьютерной программы, помогающей идентифицировать неупругие эффекты и определить их термоактивационные параметры (высоту максимума - Q_m^{-1} , температурное положение - T_m , энергию активации - H , фоновое значение ВТ - Q_f^{-1}). Исследовали изменение этих параметров в зависимости от длительности и интенсивности электролитического наводороживания.

Экспериментальные данные. На ТЗВТ наводороженных образцов (рис. 1) фиксировали ряд максимумов ВТ: 1 - водородный максимум Снука – Кестера, 2, 3 - деструкционные максимумы, 4 - максимум Снука.

Рис.1. ТЗВТ наводороженной стали Ст 3 ($j = 150$ А/м 2 , $\tau = 25$ ч)

Обсуждение результатов. Анализировали зависимости параметров перечисленных максимумов от длительности электролитического наводороживания (рис. 2, 3).

Компьютерный анализ максимума 1 позволил выявить два образующих его пика 1А ($T_m = -89,3$ °С, $Q_m^{-1} = 1,38 \cdot 10^{-4}$, $H = 11,4$ кДж/моль) и 1В ($T_m = -54,5$ °С, $Q_m^{-1} = 3,58 \cdot 10^{-4}$, $H = 23,4$ кДж/моль). Сложный характер максимума 1 объясняется взаимодействием одиночных атомов водорода (максимум СК $_H$ (1)) и их парных комплексов (СК $_H$ (2)) с геометрическими перегибами на невинтовых дислокациях. Деструкционные максимумы 2 и 3 отражают образование перегибов с винтовой ориентацией (s-типа) (максимум 2) и перегибов с винтовой и краевой ориентацией (e-типа) (максимум 3) на дислокациях, расположенных в локальных зонах концентраций напряжений вблизи вершин микротрещин [3].

Рис. 2. Зависимость высоты водородного (1 – СК $_H$ (a), 2 – СК $_H$ (м)) максимума Снука-Кестера от времени наводороживания для стали Ст3

Рис. 3. Зависимость высот деструкционных максимумов (1 – Д(s), 2 – Д(e)) от времени наводороживания для стали Ст3 ($j = 150$ А/м 2)

Рост высоты максимума СК(H) объясняли диффузией атомов водорода в область максимальных трехосных напряжений как следствие градиента химического потенциала. Процесс диффузии атомов водорода протекает до выравнивания химического потенциала во всех областях системы, о чем свидетельствует стабилизация высоты максимума СК(H) при длительности наводороживания более 15 часов (рис. 2). Рост высоты максимума Д (рис. 3) объясняли как повышением плотности дислокаций, так и количества дефектов поврежденности. Снижение высоты максимума Д(s) после 15 часов наводороживания объясняли релаксацией локальных микронапряжений,

возникающих при насыщении металла водородом за счет развития внутренних поверхностей (активного трещинообразования).

Заключение. Полученные результаты подтвердили предположение о наличии диффузии атомов водорода к постоянно присутствующим технологическим трещинам и последующую молезазию в них. Контроль за параметрами дислокационно-примесного взаимодействия и изменением дислокационной динамики в окрестностях эволюционирующих микротрещин позволил фиксировать диффузию и молезазию водорода, а также структурные последствия этих процессов. Таким образом, анализ спектра ВТ позволяет эффективно изучать развитие деградации и деструкции в сталях, содержащих водород.

Список литературы:

1. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях/Под ред. М.С. Блантера, Ю.В. Пигузова- М: Металлургия, 1991.- 248с.
2. Извольский В. В, Сергеев Н. Н. Коррозионное растрескивание и водородное охрупчивание арматурных сталей железобетона повышенной и высокой прочности.– Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та, 2001.– 163 с.: ил.
3. Левин Д.М., Чуканов А.Н. // Известия РАН. Серия физическая.-2005.-Т.69 -. № 8. - С. 1201 – 1205.